

Perencanaan dan Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid pada Instalasi Pengolahan Air

Tomiharia Putra*, Yani Ridal, Rosnita Rauf

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Planning Ekasakti University, Padang 25115, INDONESIA

Article Info

Article history:

Received
04-02-2026

Accepted
12-05-2026

Keywords:

Feasibility Analysis,
Inverter, On-Grid
Photovoltaic (PV)
System, Solar Cell,
Solar Charge
Controller, Water
Treatment Plant (WTP)

Abstract

This study aims to design and evaluate an on-grid Solar Power Generation System (PLTS) for the Water Treatment Plant (IPA) Taban III in Lubuk Minturun, Padang, addressing the lack of research on on-grid PLTS in government-operated water treatment facilities. Using an engineering design approach, the study covers energy load analysis, Helioscope simulation, and economic feasibility assessment. The site has an average daily solar irradiance of 4.91 kWh/m²/day. The total facility load is 34.32 kW (40,376.47 VA). The PLTS is designed to supply 20% of this, prioritizing a 2.3 kW active load with daily energy demand of 13.8 kWh. The proposed system consists of 27 monocrystalline solar panels (550 Wp) and a 20 kW three-phase grid-tied inverter. Simulation results show an annual energy output of 19,287.9 kWh and a Performance Ratio of 78.06%. The PLTS supplies approximately 59% of daily load demand, with the remaining 41% from the PLN grid via net metering. Deviation between manual calculations and simulation is below 0.5%. Total investment is IDR 239,250,476 with annual savings of IDR 23,419,400, yielding a payback period of approximately 10 years and 3 months. The system is feasible and supports national renewable energy targets, and is recommended for similar public utility facilities.

Info Artikel

Histori Artikel:

Diterima:
04-02-2026

Disetujui:
12-05-2026

Kata Kunci:

Keywords:
Feasibility Analysis,
Inverter, On-Grid
Photovoltaic (PV)
System, Solar Cell,
Solar Charge
Controller, Water
Treatment Plant (WTP)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on-grid untuk Instalasi Pengolahan Air (IPA) Taban III di Lubuk Minturun, Padang, guna menjawab minimnya penelitian implementasi PLTS on-grid pada fasilitas pengolahan air pemerintah. Dengan pendekatan perancangan rekayasa, penelitian mencakup analisis beban energi, simulasi Helioscope, dan penilaian kelayakan ekonomi. Lokasi memiliki rata-rata iradiasi matahari harian sebesar 4,91 kWh/m²/hari. Total beban fasilitas adalah 34,32 kW (40.376,47 VA). PLTS dirancang memasok 20% dari total beban, memprioritaskan beban aktif 2,3 kW dengan kebutuhan energi harian 13,8 kWh. Sistem yang diusulkan terdiri dari 27 panel surya monokristalin 550 Wp dan satu inverter tiga fasa grid-tied 20 kW. Hasil simulasi menunjukkan keluaran energi tahunan 19.287,9 kWh dengan Performance Ratio 78,06%. PLTS memasok sekitar 59% kebutuhan beban harian, sedangkan 41% sisanya dipasok jaringan PLN melalui net metering. Deviasi antara perhitungan manual dan simulasi kurang dari 0,5%. Total investasi sebesar Rp239.250.476 dengan penghematan tahunan Rp23.419.400 menghasilkan payback period sekitar 10 tahun 3 bulan. Sistem ini layak diterapkan, mendukung target energi terbarukan nasional, dan direkomendasikan untuk fasilitas utilitas publik serupa.

1. PENDAHULUAN

Indonesia tengah menghadapi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan energi nasional yang terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk. Ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil tidak hanya mempercepat laju eksploitasi sumber daya alam tak terbarukan, tetapi juga menyebabkan peningkatan emisi karbon yang berdampak serius terhadap perubahan iklim global. Dalam upaya mengurangi dampak lingkungan tersebut, transisi menuju energi bersih dan terbarukan menjadi salah satu prioritas utama kebijakan energi nasional. Salah satu sumber energi yang potensial dan

*Corresponding author: Tomiharia Putra
Email address: Tomiharia2@gmail.com

melimpah di Indonesia adalah energi surya, didukung oleh letak geografis Indonesia yang berada di garis khatulistiwa dengan tingkat iradiasi harian rata-rata sekitar 4,8 kWh/m²/hari.

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) semakin relevan dan penting untuk diterapkan pada sektor-sektor strategis, termasuk sektor penyediaan air bersih. Instalasi Pengolahan Air (IPA) merupakan fasilitas vital yang membutuhkan pasokan energi listrik stabil dan berkesinambungan. Selama ini, sebagian besar IPA masih bergantung pada listrik dari jaringan konvensional yang bersumber dari energi fosil. Penggunaan PLTS pada fasilitas ini tidak hanya berpotensi menurunkan biaya operasional secara signifikan, tetapi juga dapat mendukung program dekarbonisasi dan pembangunan berkelanjutan.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan keberhasilan implementasi PLTS dalam berbagai skala dan sektor. Studi terdahulu mengindikasikan bahwa sistem PLTS atap mampu menghasilkan energi listrik yang signifikan dengan masa balik modal yang relatif singkat, yaitu sekitar delapan tahun dengan hasil produksi energi mencapai 131.232 kWh/tahun [1]. Penerapan PLTS di sektor perumahan juga terbukti meningkatkan efisiensi biaya dan memberikan dampak positif terhadap lingkungan [2]. Selain itu, sistem hybrid yang menggabungkan sumber energi surya dengan jaringan listrik PLN diketahui mampu meningkatkan keandalan pasokan listrik [3]. Kajian lainnya menekankan bahwa pembangunan PLTS, baik di daerah terpencil maupun kawasan perumahan, memiliki kelayakan teknis dan ekonomi yang tinggi [4], [5]. Namun, sebagian besar studi tersebut berfokus pada sektor perumahan dan pendidikan, serta sistem PLTS off-grid atau hybrid. Belum banyak kajian yang secara khusus membahas implementasi sistem PLTS on-grid pada fasilitas pengolahan air bersih milik pemerintah, terutama dalam konteks kebijakan lokal dan nasional terkait bauran energi terbarukan.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatannya yang terintegrasi antara aspek teknis, ekonomis, dan kebijakan dalam merancang sistem PLTS on-grid untuk Instalasi Pengolahan Air (IPA) Taban III di Lubuk Minturun, Padang. Penelitian ini juga menyesuaikan dengan kebijakan lokal, seperti Surat Edaran Gubernur Sumatera Barat No. 671/357/EKTL/DESDM-2022 yang mewajibkan pemanfaatan energi surya minimal 20% dari kapasitas listrik terpasang pada bangunan pemerintah. Dengan demikian, studi ini tidak hanya memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi energi terbarukan, tetapi juga mendukung implementasi kebijakan energi nasional dan daerah.

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang sistem PLTS on-grid yang optimal untuk mendukung operasional IPA Taban III, baik dari sisi kapasitas pembangkit, konfigurasi sistem, hingga kelayakan ekonominya. Penelitian ini juga ingin menjawab apakah sistem yang dirancang mampu memberikan efisiensi biaya dan mendukung keberlanjutan lingkungan sesuai target kebijakan energi nasional.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan dari artikel ini adalah untuk merancang dan mengevaluasi implementasi sistem PLTS on-grid pada Instalasi Pengolahan Air Taban III di Lubuk Minturun, Padang. Artikel ini mencakup analisis kebutuhan energi, desain teknis sistem PLTS, estimasi biaya investasi, simulasi performa menggunakan perangkat lunak Helioscope, serta analisis kelayakan ekonominya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengambil kebijakan, sektor publik, dan pelaku industri dalam merancang dan mengimplementasikan PLTS serupa di fasilitas lainnya guna mendukung transisi energi berkelanjutan di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkitan energi yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan prinsip efek fotovoltaiik. Sel fotovoltaiik, sebagai komponen utama panel surya, terdiri dari material semikonduktor yang menghasilkan aliran listrik ketika terkena cahaya matahari [6]. PLTS terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu sistem on-grid (terhubung dengan jaringan listrik PLN) dan off-grid (berdiri sendiri dan menggunakan baterai untuk penyimpanan energi) [7].

Pada sistem on-grid, energi yang dihasilkan dari panel surya langsung dikonversi oleh inverter menjadi arus bolak-balik (AC) dan disalurkan ke beban atau ke jaringan listrik. Sistem ini memanfaatkan teknologi net metering yang memungkinkan pertukaran energi dua arah dengan PLN. PLTS on-grid sangat sesuai diterapkan di lokasi dengan pasokan listrik yang stabil dan memiliki potensi iradiasi tinggi, seperti wilayah Sumatera Barat.

2.2 Singular Potensi Energi Surya di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat tinggi dengan rata-rata iradiasi harian mencapai 4–5 kWh/m²/hari [8]. Hal ini menjadikan PLTS sebagai salah satu solusi utama untuk mendukung transisi energi bersih dan mengurangi emisi karbon nasional. Lokasi penelitian di Lubuk Minturun, Padang, berada di dataran rendah–menengah (sekitar 20–80 mdpl) dengan paparan sinar matahari yang optimal, sehingga cocok untuk pembangunan sistem PLTS. **Svd Technique For Steganography**

In SVD-based steganography, the embedding process is done by modifying the elements in the Σ matrix [10]. Here are the general steps:

1. Perform SVD decomposition on the host image.
2. Modify the singular values with secret information (either text bits or watermark).
3. Reconstruct the stego image using the modified matrix.

Several studies have shown that embedding information in the SVD domain produces high PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) values, indicating excellent visual quality [11]. In addition, this method is more resistant to compression or filtering attacks than pure spatial methods such as LSB.

2.3 Comparison With Other Image Steganography Methods

a) Panel Surya

Panel surya adalah komponen utama yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik melalui sel fotovoltaik. Efisiensi panel surya dipengaruhi oleh jenis material, suhu operasi, dan sudut kemiringan terhadap sinar matahari [6]. Tiga jenis utama panel surya yang umum digunakan adalah monocrystalline, polycrystalline, dan thin film, masing-masing dengan karakteristik efisiensi dan harga yang berbeda [8].

b) Solar Charge Controller (SCC)

SCC berfungsi mengatur pengisian baterai (pada sistem off-grid) dan mencegah overcharging. Pada sistem on-grid, SCC berperan untuk menjaga stabilitas arus listrik dari panel sebelum dikonversi oleh inverter [9]. Kapasitas SCC ditentukan berdasarkan daya keluaran maksimum panel dan faktor keamanan.

c) Inverter

Inverter adalah perangkat yang mengubah arus searah (DC) dari panel menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh beban listrik. Kapasitas inverter perlu dirancang sesuai dengan total daya output sistem dan dilengkapi faktor keamanan minimal 1,25 kali dari daya nominal [9].

d) Net Metering

Net metering adalah mekanisme yang memungkinkan pengguna sistem PLTS on-grid untuk mengirim kelebihan energi listrik ke jaringan PLN dan menerima kompensasi energi yang digunakan kembali. Net metering ini telah disiapkan dan diatur oleh PT PLN (Persero) yang tertuang dalam peraturan PT PLN (Persero) No. 0733.K/DIR/2013. Sistem ini mendorong efisiensi energi dan penghematan biaya listrik jangka panjang, serta telah diterapkan secara luas dalam sistem kelistrikan nasional.

e) Desain Sistem PLTS

Desain sistem PLTS harus mempertimbangkan beberapa aspek seperti potensi radiasi matahari, luas lahan, kapasitas beban, serta efisiensi komponen sistem. Perhitungan kapasitas daya panel surya melibatkan intensitas radiasi (G_{av}), efisiensi panel (η_{PV}), serta faktor koreksi suhu dan keluaran sistem [9]. Persamaan (1) dan (2) digunakan untuk menentukan luas array dan kapasitas daya antara lain:

$$\text{Luas array} = \frac{E_T}{(G_{av} \times \eta_{PV} \times FKT \times \eta_{out})} \quad (1)$$

$$P_{\text{wattpeak}} = \text{Luas array} \times PSI \times \eta_{PV} \quad (2)$$

Kebutuhan panel disusun secara seri dan paralel untuk mendapatkan tegangan dan arus maksimum sesuai konfigurasi sistem. Berdasarkan skripsi perancangan sistem ini, 27 unit panel disusun dengan konfigurasi 3 modul seri dan 9 modul paralel ($3S \times 9P$). Konfigurasi ini menghasilkan tegangan maksimum (V_{mpp}) = $41,6 \text{ V} \times 3 = 124,8 \text{ VDC}$ dan arus total (I_{mpp}) = $13,21 \text{ A} \times 9 = 118,89 \text{ A}$, sehingga daya maksimum array = $124,8 \times 118,89 = 14.837,47 \text{ W}$. Tegangan string 124,8 VDC berada dalam rentang MPPT inverter CHINT CPS SCA20KTL-T1/EU (400–800 VDC), sehingga konfigurasi ini sesuai dengan spesifikasi inverter. Hal ini juga bergantung pada batas tegangan input inverter serta kondisi fisik instalasi.

f) Studi Terdahulu yang Relevan

Penelitian menunjukkan bahwa perencanaan PLTS atap di kampus menghasilkan penghematan energi signifikan dengan masa balik modal 8 tahun [1]. Sementara itu, PLTS on-grid pada rumah tinggal mampu mengurangi biaya listrik secara drastis [2]. Kelayakan PLTS off-grid untuk wilayah pedesaan [4], sedangkan manfaat sosial ekonomi dari instalasi PLTS off-grid di lembaga pendidikan

[10]. Penelitian ini memperluas cakupan kajian dengan fokus pada implementasi PLTS on-grid di fasilitas pengolahan air bersih, yang belum banyak dikaji secara mendalam dalam studi sebelumnya.

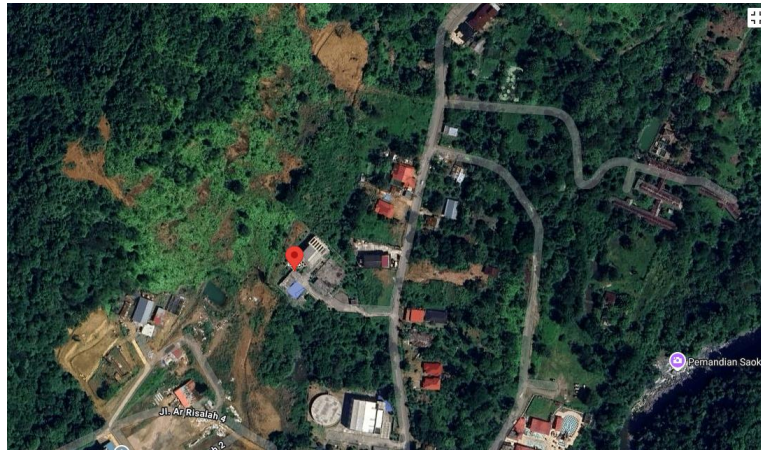
3. METHODOLOGY

3.1 Procedural Steps in This Study

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan rekayasa teknik (engineering design) yang bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on-grid sebagai solusi penyediaan energi alternatif pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Taban III. Penelitian ini bersifat kuantitatif deskriptif, dengan analisis yang mencakup aspek teknis, lokasi, serta estimasi kelayakan biaya pembangunan PLTS.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

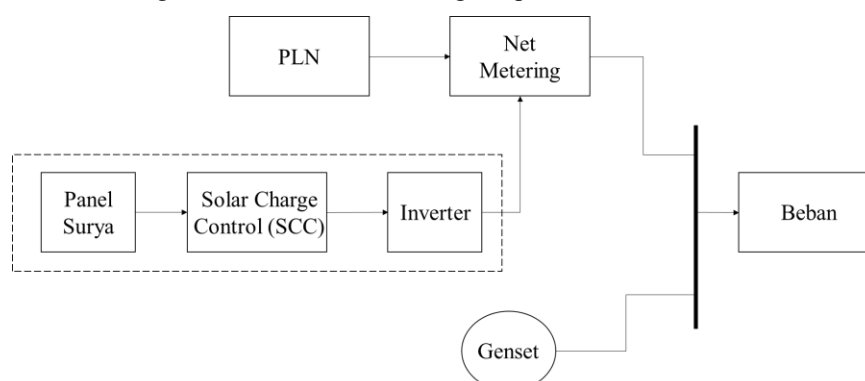
Lokasi penelitian berada di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Taban III, yang terletak di Balai Gadang, Kecamatan Koto Tengah, Kota Padang, Sumatera Barat 25586. Secara geografis, lokasi ini berada pada koordinat -0.825236° LS dan 100.396287° BT. Pemilihan lokasi ini mempertimbangkan tingginya intensitas iradiasi matahari harian di wilayah tersebut yang sangat mendukung optimalisasi sistem PLTS. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2024 hingga selesai. Posisi geografis lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi IPA Taban III di Balai Gadang, Padang

3.3 Desain Sistem Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa komponen utama sistem PLTS, yaitu: (1) panel surya monokristalin Trina Solar TSM-DEG19C.20 berkapasitas 550 Wp (dimensi $2278 \text{ mm} \times 1134 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$, efisiensi 21,3%, $V_{oc} = 49,8 \text{ V}$, $I_{sc} = 14,02 \text{ A}$, $V_{mp} = 41,6 \text{ V}$, $I_{mp} = 13,21 \text{ A}$) sebagai sumber energi utama; (2) inverter on-grid tiga fasa CHINT CPS SCA20KTL-T1/EU berkapasitas 20 kW (rentang tegangan MPPT 400–800 VDC, tegangan output AC 230/400 V, efisiensi maks. 98,4%) untuk konversi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC); (3) Solar Charge Controller (SCC) MPPT Demuda 120 A 48 V sebanyak 3 unit yang dihubungkan paralel; (4) box panel (PHB) untuk distribusi dan proteksi arus listrik; dan (5) kabel NYHHY $2 \times 25 \text{ mm}^2$ sebagai kabel utama serta NYHHY $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ untuk kabel antar panel. Komponen-komponen tersebut dipilih berdasarkan kesesuaian spesifikasi teknis dengan kebutuhan daya beban yang ada di IPA Taban III. Desain sistem PLTS secara umum digambarkan melalui blok diagram pada Gambar 2.

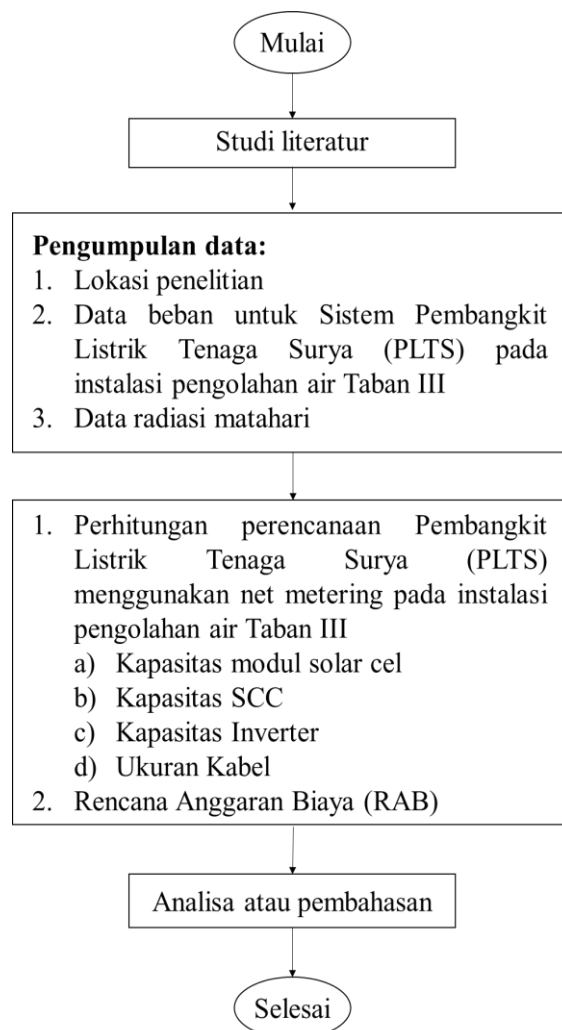


Gambar 2. Blok Diagram Sistem Photovoltaic yang Dirancang

3.4 Tahapan Perencanaan Penelitian

Perencanaan sistem PLTS dilakukan melalui tahapan yang sistematis, dimulai dengan studi literatur untuk memahami konsep pembangkit listrik tenaga surya, teknologi komponen, serta standar teknis yang berlaku seperti SNI 8395:2017 dan PUIL 2011. Tahap selanjutnya adalah observasi lapangan untuk mengevaluasi potensi lokasi dan beban listrik aktual di IPA Taban III. Data beban diperoleh melalui survei langsung terhadap instalasi kelistrikan dan peralatan operasional yang digunakan.

Perhitungan kapasitas sistem dilakukan secara analitik dengan mempertimbangkan daya beban harian, potensi radiasi matahari di lokasi, serta efisiensi komponen sistem. Desain teknis mencakup perhitungan jumlah dan kapasitas panel surya, kapasitas inverter, pemilihan *Solar Charge Controller* (SCC), serta panjang dan jenis kabel. Seluruh perhitungan mengacu pada efisiensi sistem sebesar 80% dan menggunakan faktor koreksi sebesar 1,8 untuk menjamin kecukupan suplai energi. Faktor koreksi ini diperoleh berdasarkan pendekatan yang digunakan dalam perencanaan PLTS, yaitu dengan mempertimbangkan rugi-rugi sistem (*system losses*) sebesar 20%, faktor variasi iradiasi harian dan musiman, serta cadangan kapasitas (*safety margin*) sesuai dengan panduan teknis SNI 8395:2017 tentang Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan referensi teknis dari Kementerian ESDM terkait desain sistem PLTS on-grid di Indonesia. Nilai faktor koreksi 1,8 merupakan invers dari efisiensi sistem keseluruhan ($1/0,55 \approx 1,8$) yang mencakup rugi-rugi inverter, kabel, suhu, dan kebersihan panel, sebagaimana diadopsi pula oleh beberapa penelitian perencanaan PLTS di fasilitas publik [9]. Proses alur perencanaan sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Perencanaan Sistem PLTS

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan beberapa langkah utama, yaitu:

- 1) Studi literatur, untuk menelaah teori dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan, termasuk standar desain dan peraturan pemerintah terkait energi terbarukan;

- 2) Mempelajari literatur, guna memahami secara teknis desain dan implementasi sistem PLTS dari berbagai sumber terpercaya seperti jurnal ilmiah dan buku teknis;
- 3) Observasi, dilakukan untuk mengumpulkan data langsung di lapangan mengenai potensi lokasi, kapasitas beban, dan konfigurasi instalasi yang ada;
- 4) Diskusi, melalui bimbingan dan konsultasi bersama dosen pembimbing;
- 5) Analisis, yang dilakukan terhadap data teknis melalui perhitungan kapasitas sistem PLTS menggunakan parameter yang sesuai dengan kondisi lokal dan kebutuhan beban;
- 6) Penyusunan laporan, yaitu proses akhir untuk mendokumentasikan hasil perhitungan teknis, desain sistem, dan estimasi anggaran biaya pembangunan sistem PLTS.

Melalui tahapan-tahapan ini, diharapkan sistem PLTS yang dirancang dapat berjalan secara optimal, efisien, dan sesuai dengan ketentuan teknis serta mendukung kebijakan energi berkelanjutan yang ditetapkan oleh pemerintah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menyajikan analisis kebutuhan beban listrik, potensi energi surya, dan hasil simulasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan perangkat lunak Helioscope.

4.1 Data Beban Terpasang

Kapasitas yang direncanakan untuk dibangun PLTS sebesar 20% dari total beban terpasang pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Taban III. Berikut adalah tahapan perhitungan perencanaan sistem PLTS IPA Taban III berdasarkan data lapangan:

1. Menghitung total beban dan kapasitas suplai PLTS.

a) Total daya seluruh fasilitas (P) = 34.320 W.

b) Daya semu (S) = $\frac{P}{\cos \theta} = \frac{34.320}{0,85} = 40.376,47$ VA

c) Kapasitas PLTS 20% dari perencanaan (EL) = $20\% \times 40.376,47 = 8.075,29$ W.

Karena sistem ini tidak menggunakan baterai, beban yang diprioritaskan untuk disuplai PLTS adalah peralatan pompa bahan kimia yang beroperasi siang hari, dengan total daya aktif 2,3 kW dan durasi operasi 6 jam/hari, menghasilkan

d) Total kebutuhan energi harian (E) = $2,3 \times 6 = 13,8$ kWh.

Nilai 2,3 kW ini tidak melebihi kapasitas suplai PLTS sebesar 8,07529 kW, sehingga sistem mampu memenuhi kebutuhan beban prioritas tersebut sepenuhnya. Tabel 1 berikut merekap beban-beban yang disuplai oleh PLTS:

Tabel 1. Rekapitulasi Beban yang Menggunakan PLTS pada IPA Taban III

Peralatan ME	Jumlah (unit)	Daya (kW)	Total Daya (kW)	Durasi Operasi (jam)	Energi (kWh)
Agitator Koagulan	1	0,5	0,5	6	3
Agitator Chlor	1	0,5	0,5	6	3
Pompa Transfer Air Pelarut	1	0,5	0,5	6	3
Pompa Transfer Kimia	2	0,4	0,8	6	4,8
Total			2,3		13,8

2. Menghitung jumlah modul dengan menggunakan faktor koreksi 1,8 (memperhitungkan rugi-rugi sistem):

a) Jumlah Modul = $\frac{\text{Kapasitas Beban} \times \text{Faktor Koreksi}}{\text{kapasitas modul}} = \frac{8.075,29 \times 1,8}{550} = 26,43 \approx 27$ unit

b) Total daya terpasang = $27 \times 550 \text{ Wp} = 14.850 \text{ Wp} \approx 14,85 \text{ kWp}$.

3. Konfigurasi Seri-Paralel (3S × 9P).

a) Vmpp per string (Vmpp) = $41,6 \text{ V} \times 3 = 124,8 \text{ VDC}$.

b) Impp total (Impp) = $13,21 \text{ A} \times 9 = 118,89 \text{ A}$.

c) Daya maksimum array (Pmax) = $124,8 \times 118,89 = 14.837,47 \text{ W} \approx 14,84 \text{ kW}$.

d) Tegangan 124,8 VDC berada dalam rentang MPPT inverter CHINT CPS SCA20KTL-T1/EU (400–800 VDC).

4. Kapasitas Inverter = $P_{\text{max}} \times \text{Safety Factor} = 14.837,47 \times 1,25 = 18.546,84 \text{ W}$.
Dipilih inverter 20 kW (kapasitas terdekat di pasaran).

4.2 Data Iradiasi Mataharige

IPA Taban III yang terletak di 59FV+PWM, Balai Gadang, Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang, Sumatera Barat 25586, Indonesia ($0^{\circ}49.5'S$, $100^{\circ}23.7'E$) berada di dataran rendah sehingga memiliki tingkat iradiasi matahari yang tinggi. Dalam mengetahui tingkat iradiasi matahari di IPA Taban III peneliti menggunakan *software* Hoomer dengan data berdasarkan NASA. Data iradiasi matahari dapat dilihat pada Tabel 2.

Bulan	Solar GHI (kWh/m ² /day)	Temperatur Udara (°C)	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	4,850	25,110	2,450
Februari	5,230	25,280	2,490
Maret	5,150	25,400	2,630
April	5,130	25,570	2,530
Mei	5,030	25,790	2,410
Juni	4,970	25,500	2,460
Juli	4,870	25,130	2,570
Agustus	4,850	25,120	2,740
September	4,870	25,070	2,710
Oktober	4,880	24,930	2,810
November	4,530	24,850	2,900
Desember	4,580	24,850	2,670
Rata-rata	4,91	25,22	2,61

4.3 Hasil Simulasi Helioscope

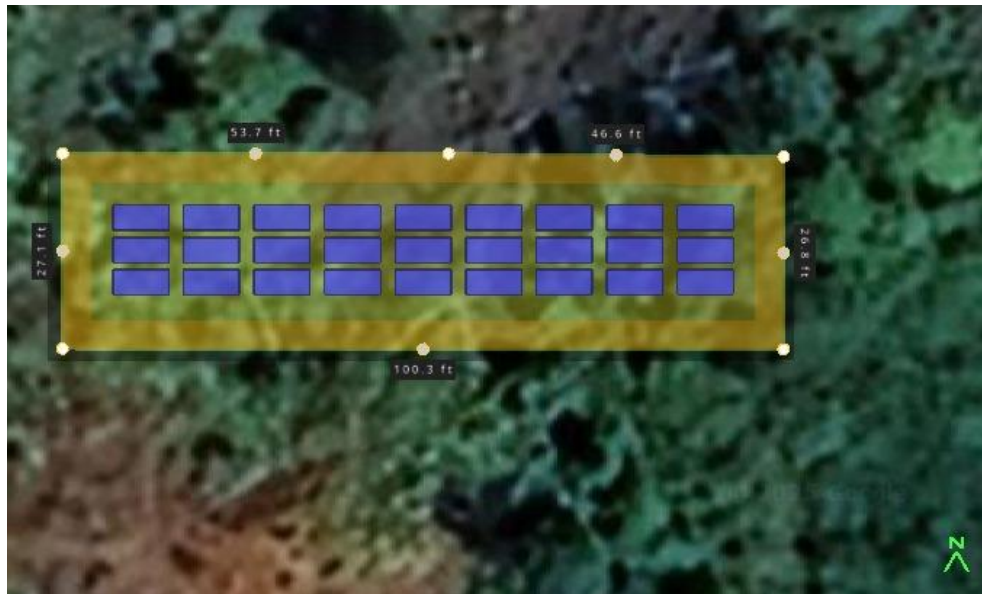
Berdasarkan simulasi menggunakan Helioscope dengan konfigurasi sistem 27 modul PV (Trina Solar TSM-DEG19C.20, 550 Wp) yang disusun dalam konfigurasi 3 seri \times 9 paralel (Field Segment: Fixed Tilt, Landscape/Horizontal, kemiringan 13° , azimuth 180°), dengan inverter CHINT CPS SCA20KTL-T1/EU 20 kW, didapatkan hasil sebagai berikut:

- Total luas lahan digunakan: $\pm 69,747 \text{ m}^2$
- Produksi energi tahunan (net AC): 48.005 kWh/year
- *Performance ratio* (PR): 78,06%
- *Solar access*: 97,5%



Gambar 2. Tampilan Simulasi pada Helioscope

Perencanaan di desain menggunakan Software Helioscope berdasarkan iradiasi matahari dan luas lahan yang tersedia mendapatkan total daya sebesar 14,9 KW per hari. Produksi tahunan yang diperoleh mencapai 19,29 MWh, dengan *Performance Ratio* 80,3 %. Untuk mendapatkan hasil simulasi dari *software* Helioscope maka peneliti merancang desain PLTS terlebih dahulu seperti pada Gambar 5.



Gambar 3. Desain Tata Letak Panel Surya

Dari hasil simulasi, modul PLTS memiliki kapasitas 550 W dengan total 27 modul dirancang dengan total 27 panel surya ((1 x 1) x 27). Inverter yang digunakan memiliki kapasitas 20 KW, dengan total 1 buah inverter. Konsep peletakan PLTS ini disebut sebagai PLTS *Ground Mounted* atau *Fixed Tilt Racking* dengan pemasangan *Landscape* dan kemiringan sebesar 13°. Hasil simulasi produksi tahunan dan pembagian segment desain PLTS pada *software* Helioscope dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6.

Tabel 2. Hasil Simulasi Produksi Tahunan

Annual Production			
	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m ²)	Annual Global Horizontal Irradiance	1635,5	
	POA Irradiance	1609,9	-1,6%
	Shaded Irradiance	1597,6	-0,8%
	Irradiance After Reflection	1541,4	-3,5%
	Irradiance After Soiling	1510,6	-2%
	Total Collector Irradiance	1510,7	0%
Energy (kWh)	Nameplate	22431,8	
	Output at Irradiance Level	22269,5	-0,7%
	Output at Cell Temperature Derate	20889,5	-6,2%
	Output After Mismatch	20,051,9	-4%
	Optimal DC Output	19922,9	-0,6%
	Constrained DC Output	19922,7	0%
	Inverter Output	19384,8	-2,7%
	Energy to Grid	19287,9	-0,5%
	Temperature Metrics		
	Avg. Operating Ambient Temp	26,0 °C	
	Avg. Operating Cell Temp	35,2 °C	
Simulation Metrics			
	Operating Hours	4678	
	Solved Hours	4678	

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Field Segment 1	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	Module: 13°	Module: 180°	1.0 ft	1x1	27	27	14.9 kW

Gambar 4. Field Segments Desain PLTS pada Software Helioscope

4.4 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan dan menganalisis implementasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Taban III Lubuk Minturun Padang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem PLTS secara teknis dan ekonomi layak dilakukan dan mampu mendukung efisiensi energi serta keberlanjutan lingkungan. Berikut ini adalah pembahasan secara mendalam terhadap hasil yang diperoleh.

4.4.1 Desain dan Perhitungan Kebutuhan Lahan PLTS

Dari hasil survei dan analisis data lapangan, diketahui bahwa sistem PLTS yang dirancang membutuhkan 27 unit panel surya berkapasitas 550 Wp. Berdasarkan dimensi fisik satu panel (2278 mm x 1134 mm), dilakukan konfigurasi pemasangan secara horizontal dan vertikal (3 x 9). Perhitungan menghasilkan luas fisik terpasang sebesar 69,747 m². Namun demikian, luas tersebut belum mencakup *inter-row spacing*, area akses jalan, dan *setback area*, sebagaimana direkomendasikan dalam desain PLTS komersial [7]. Hal ini sejalan dengan praktik standar internasional yang menyarankan tambahan ruang 20–30% dari luas panel untuk memaksimalkan efisiensi dan memudahkan pemeliharaan

4.4.2 Validasi Data Simulasi dan Perhitungan Manual

Validasi data antara hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Helioscope dan perhitungan manual menunjukkan hasil yang sangat mendekati, yaitu:

Tabel 3. Perbandingan antara Software dan Perhitungan

Parameter	Software	Perhitungan	Validasi Data	Error (%)
Jumlah Panel	27	27	Valid	0,00%
Total Daya Panel	14,9	14,84	Valid	0,40%

Validasi yang dilakukan menunjukkan bahwa metode perhitungan manual yang diterapkan memiliki tingkat presisi yang tinggi serta dapat diandalkan dalam tahap perencanaan awal sistem. Validitas data ditunjukkan melalui kesesuaian antara hasil perhitungan dan kondisi aktual di lapangan. Untuk mempertegas validasi dan memenuhi kebutuhan analisis yang lebih rinci, berikut disajikan langkah-langkah perhitungan manual secara bertahap beserta estimasi produksi energi per jam berdasarkan profil iradiasi harian di lokasi penelitian.

4.4.3 Estimasi Produksi Energi Per Jam (Representasi Hari Tipikal)

Laporan simulasi Helioscope menyajikan data produksi tahunan dan bulanan. Sebagai pelengkap, estimasi distribusi produksi energi per jam pada hari tipikal disajikan berdasarkan profil iradiasi harian rata-rata di lokasi penelitian (GHI rata-rata 4,91 kWh/m²/hari) dan faktor sistem (PR = 78,06%, daya terpasang 14,85 kWp). Metode ini sejalan dengan pendekatan yang digunakan pada studi-studi perencanaan PLTS serupa [12], [13]. Estimasi dihitung menggunakan rumus: $E(t) = P_{\text{installed}} \times \text{GHI}(t)/\text{GHI}_{\text{stc}} \times \text{PR}$, dimana $\text{GHI}_{\text{stc}} = 1 \text{ kWh/m}^2$. Tabel berikut menyajikan estimasi produksi per jam untuk hari tipikal.

Tabel 5. Estimasi Produksi Energi Per Jam Sistem PLTS IPA Taban III (Hari Tipikal)

Waktu (WIB)	GHI Estimasi (kW/m ²)	Daya Output (kW)	Energi Per Jam (kWh)	Status Beban (2,3 kW)
06.00–07.00	0,10	0,12	0,12	PLN + PLTS
07.00–08.00	0,35	0,41	0,41	PLN + PLTS
08.00–09.00	0,65	0,75	0,75	PLN + PLTS
09.00–10.00	0,82	9,50	9,50	PLTS (surplus → net metering)
10.00–11.00	0,91	10,55	10,55	PLTS (surplus → net metering)
11.00–12.00	0,96	11,13	11,13	PLTS (surplus → net metering)
12.00–13.00	0,93	10,78	10,78	PLTS (surplus → net metering)
13.00–14.00	0,87	10,09	10,09	PLTS (surplus → net metering)
14.00–15.00	0,75	8,70	8,70	PLTS (surplus → net metering)
15.00–16.00	0,55	6,38	6,38	PLTS (surplus → net metering)
16.00–17.00	0,30	3,48	3,48	PLTS + PLN
17.00–18.00	0,08	0,93	0,93	PLN + PLTS
18.00–06.00	0,00	0,00	0,00	PLN (100%)
Total Harian	4,91 kWh/m²	—	≈ 52,8 kWh	Beban 13,8 kWh terpenuhi

Tabel 5 menunjukkan bahwa sistem PLTS beroperasi aktif mulai pukul 06.00 hingga 18.00 WIB. Pada jam puncak produksi (09.00–15.00), output sistem jauh melebihi kebutuhan beban prioritas 2,3 kW, sehingga kelebihan energi diekspor ke jaringan PLN melalui skema net metering. Total estimasi produksi

harian $\approx 52,8$ kWh, sedangkan kebutuhan beban harian 13,8 kWh, sehingga rasio suplai PLTS terhadap kebutuhan beban adalah $52,8/13,8 \approx 3,8$ kali — mengonfirmasi bahwa sistem dirancang dengan kapasitas yang memadai dan mengoptimalkan potensi ekspor energi. Selanjutnya, analisis ekonomi dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan investasi sistem PLTS dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

a) Investasi Awal (CAPEX)

Total biaya investasi awal sebesar Rp 239.250.476, meliputi panel, inverter, *Solar Charge Controller* (SCC), struktur mekanis, kabel, dan biaya pemasangan. Biaya investasi per kWp dihitung sebesar Rp 16.200/kWp, nilai ini relatif efisien dibandingkan dengan proyek-proyek PLTS skala kecil lainnya di sektor publik [2], yang berada pada kisaran Rp 17.000–20.000/kWp.

b) Biaya Operasional dan Pemeliharaan (OPEX)

Biaya pemeliharaan sistem per tahun sebesar Rp 1.500.000, termasuk kegiatan pembersihan panel, pengecekan inverter, serta penggantian kabel atau aksesoris. Efisiensi biaya ini mencerminkan karakteristik PLTS yang memiliki biaya OPEX rendah karena minim komponen bergerak dan usia pakai yang panjang (25–30 tahun) [10].

c) Penghematan Biaya Listrik

Sistem PLTS menghasilkan energi sekitar 16.210,56 kWh/tahun, menghasilkan penghematan biaya listrik sebesar Rp 23.419.400/tahun. Hal ini menunjukkan kontribusi besar terhadap efisiensi biaya operasional IPA yang sebelumnya bergantung penuh pada listrik PLN.

d) Periode Pengembalian Modal (*Payback Period*)

Dengan penghematan tahunan tersebut, sistem PLTS akan mencapai titik balik modal dalam waktu ± 10 tahun 3 bulan. Setelah periode ini, sistem akan terus menghasilkan listrik secara gratis, memberikan nilai ekonomis dan lingkungan yang signifikan. Hasil ini sejalan dengan studi oleh Ramadhan & Rangkuti (2022), yang menyebutkan bahwa *payback period* di bawah 12 tahun untuk PLTS on-grid tergolong ekonomis dan layak investasi.

4.4.4 Keterkaitan dengan Kebijakan Energi dan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini mendukung kebijakan Surat Edaran Gubernur Sumatera Barat No. 671/357/EKTL/DESDM-2022, yang mewajibkan penggunaan energi terbarukan minimal 20% dari kapasitas listrik terpasang pada bangunan pemerintah. Dengan total beban terpasang di IPA Taban III sebesar 14,837 kW, sistem PLTS sebesar 8,075 kW telah melampaui ketentuan tersebut.

Dibandingkan dengan studi sebelumnya di kawasan perumahan, hasil penelitian ini menunjukkan performa yang kompetitif dari sisi biaya, efisiensi produksi, dan waktu pengembalian modal, terutama karena pemanfaatan lokasi geografis yang memiliki intensitas iradiasi tinggi (5,5 kWh/m²/hari).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan, perhitungan, simulasi, dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan hal-hal berikut. Pertama, sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on-grid layak secara teknis untuk diimplementasikan di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Taban III Lubuk Minturun Padang. Sistem dirancang menggunakan 27 unit panel surya monokristalin Trina Solar TSM-DEG19C.20 berkapasitas 550 Wp dengan konfigurasi 3 seri \times 9 paralel ($V_{mpp} = 124,8$ V, $I_{mpp} = 118,89$ A, $P_{max} = 14.837,47$ W), inverter tiga fasa on-grid CHINT CPS SCA20KTL-T1/EU 20 kW, tiga unit SCC MPPT Demuda 120 A 48 V yang dihubungkan paralel, dan kabel utama NYHYH 2 \times 25 mm². Luas fisik lahan yang dibutuhkan sebesar 69,747 m² (belum termasuk inter-row spacing dan area akses). Kedua, simulasi menggunakan perangkat lunak Helioscope menghasilkan produksi energi tahunan sebesar 19.287,9 kWh dengan Performance Ratio 78,06%, dan validasi antara simulasi dengan perhitungan manual menunjukkan deviasi kurang dari 0,5%, sehingga akurasi metode perhitungan dapat diterima. Ketiga, PLTS ini berkontribusi sekitar 59% dari kebutuhan energi harian beban prioritas di IPA Taban III, sehingga mengurangi ketergantungan pada jaringan PLN secara signifikan melalui skema net metering. Keempat, secara ekonomi, investasi awal sebesar Rp 239.250.476 diproyeksikan dapat dikembalikan dalam waktu sekitar 10 tahun 3 bulan, dengan penghematan biaya listrik tahunan mencapai Rp 23.419.400, menjadikan proyek ini layak dan menguntungkan dalam jangka panjang. Kelima, implementasi PLTS ini sejalan dengan Surat Edaran Gubernur Sumatera Barat No. 671/357/EKTL/DESDM-2022 dan mendukung target bauran energi terbarukan nasional sebesar 23% pada tahun 2025. Untuk penelitian lanjutan, disarankan: (1) melakukan studi optimasi tata letak panel dengan mempertimbangkan shading analysis lebih rinci; (2) mengkaji integrasi sistem penyimpanan energi (baterai) untuk meningkatkan keandalan suplai saat iradiasi rendah; (3) melakukan monitoring

performa sistem secara real-time setelah instalasi untuk memvalidasi hasil simulasi; dan (4) memperluas penerapan model serupa pada fasilitas IPA lain di Sumatera Barat sebagai bagian dari strategi transisi energi daerah.

REFERENCE

- [1] S.G. Ramadhan and Ch. Rangkuti, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti," pp. 1–11, 2018.
- [2] P. Pambayun, A and M. Iman, "Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Untuk Keperluan Pada Rumah Tinggal Studi Kasus: Rumah Tinggal Di Jalan Swadaya, Depok," *Trave*, 2020.
- [3] Y. Yulisman and A. Fakhri, "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan PLN," *J. Electr. Power Control Autom.*, vol. 5, no. 1, p. 29, 2022, doi: 10.33087/jepca.v5i1.68.
- [4] A. Chandra, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pedesaan Kabupaten Simeulue," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 3, pp. 1–7, 2023.
- [5] S. E. Pasaribu, N. H. K. Fadhilah, and I. H. Kusumah, "Analisis Biaya Dan Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Perumahan Taman Lestari Nagrak," *J. Tek. Elektro dan Vokasional*, vol. 9, no. 1, pp. 129–138, 2023.
- [6] B. Rudiyanto, R. E. Rachmanita, and A. Budiprasojo, *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*. 2023.
- [7] Samsurizal, K. T. Mauriraya, M. Fikri, N. Pasra, and Christiono, *Buku PLTS.pdf*. 2021.
- [8] R. Rauf, F. Rachim, A. T. Dahri, H. Andre, R. A. M. Napitupulu, and ..., *Matahari sebagai Energi Masa Depan| Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*, vol. 1. 2023.
- [9] F. Sianturi, R. Purnama, and A. A. Takdir, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap di Gedung Rumah Sakit Mata Makassar," 2023.
- [10] I. N. Zhafarina, "Pembangunan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid Kapasitas 6 Kwp Di Yayasan Az-Zawiyah Tanjung Batu, Ogan ...," *Teliska*, vol. 17, no. I, pp. 36–44, 2024.
- [11] S. Bukhary, J. Batista, and C. Ahmad, "Design Aspects, Energy Consumption Evaluation, and Offset for Drinking Water Treatment Operation," *Water*, vol. 12, no. 6, p. 1772, Jun. 2020. doi: 10.3390/w12061772.
- [12] M. A. Eras-Almeida, M. A. Egado-Aguilera, P. Bertheau, J. Cader, E. Ferrer-Martí, and G. Cerdà, "Techno-Economic Assessment of PV Power Systems to Power a Drinking Water Treatment Plant for an On-Grid Small Rural Community," *Energies*, vol. 16, no. 4, p. 2027, Feb. 2023. doi: 10.3390/en16042027.
- [13] D. J. Damiri and A. A. Nugraha, "Technical Performance and Economic Feasibility Simulation of 200 kWp Rooftop Solar Photovoltaic On-Grid on Industrial Estate Factory Building with Helioscope Software," *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, vol. 17, no. 2, pp. 86–93, Jun. 2021. doi: 10.17529/jre.v17i2.19578.